

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **09260724 A**(43) Date of publication of application: **03.10.97**

(51) Int. Cl

H01L 33/00(21) Application number: **08066879**(22) Date of filing: **22.03.96**(71) Applicant: **SHARP CORP**(72) Inventor: **NAKAMURA JUNICHI
NAKATSU HIROSHI****(54) SEMICONDUCTOR LIGHT EMITTING ELEMENT**

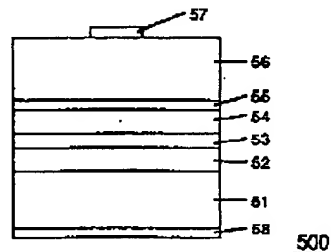
(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To lower operating voltage and to improve the efficiency of light emission, by a method wherein the band discontinuity between the upper clad layer of a semiconductor light emitting element and a current diffusion layer is alleviated.

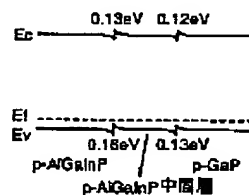
SOLUTION: An intermediate layer 55 is provided between an upper clad layer 54 and a current diffusion layer 56. On the intermediate layer 55, the energy position of the lower end of a conduction band and/or the energy position of the upper end of a valence band, before junction is positioned in the midway of the energy position at the lower end of the conduction band of the upper clad layer 54 and the current diffusion layer 56 before junction and/or the energy position at the lower end of the valence band. Semiconductor material, with which the lattice constant value is in the middle of the lattice constant value of the upper clad layer 54 and the current diffusion layer 56, is used.

COPYRIGHT: (C)1997,JPO

(a)



(b)



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-260724

(43) 公開日 平成9年(1997)10月3日

(51) Int.Cl.⁸

H01L 33/00

識別記号

庁内整理番号

F I

H01L 33/00

技術表示箇所

B

A

審査請求 未請求 請求項の数14 O L (全 17 頁)

(21) 出願番号

特願平8-66879

(22) 出願日

平成8年(1996)3月22日

(71) 出願人 000005049

シャープ株式会社

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号

(72) 発明者 中村 淳一

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シャープ株式会社内

(72) 発明者 中津 弘志

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シャープ株式会社内

(74) 代理人 弁理士 山本 秀策

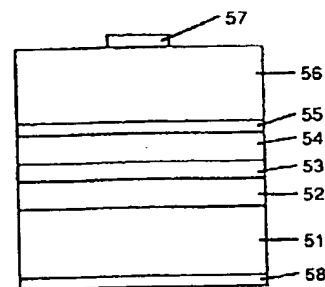
(54) 【発明の名称】 半導体発光素子

(57) 【要約】

【課題】 半導体発光素子の上部クラッド層と電流拡散層との間のバンド不連続を緩和することにより、動作電圧を低減し、発光効率を向上する。

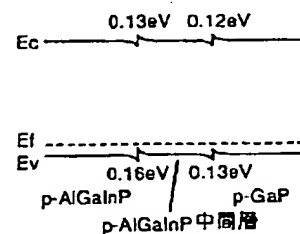
【解決手段】 上部クラッド層と電流拡散層との間に中間層を設ける。中間層は、接合前のその伝導帯下端ならびに／または価電子帯上端のエネルギー位置が、接合前の上部クラッド層及び電流拡散層の伝導帯下端のエネルギー位置の中間ならびに／または価電子帯上端のエネルギー位置の中間にそれぞれ位置し、或いは／及び、その格子定数の値が上部クラッド層及び電流拡散層の格子定数値の中間にするような、半導体材料で構成される。

(a)



500

(b)



1

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 第 1 導電型の化合物半導体基板と、
該化合物半導体基板の上に形成された積層構造であつて、少なくとも発光のための活性層と該活性層を両側から挟み込む第 1 導電型の下部クラッド層及び第 2 導電型
- の上部クラッド層とを含む、積層構造と、
該積層構造の上に形成された第 2 導電型の中間層と、
該中間層の上に形成された第 2 導電型の電流拡散層と、
を有する半導体発光素子であつて、
該中間層は、該上部クラッド層と該電流拡散層との間で、格子不整合と接合前のエネルギーバンドプロファイルにおける伝導帯下端及び／または価電子帯上端のエネルギー位置の差とのうちの少なくとも一方を緩和する、半導体発光素子。

【請求項 2】 前記中間層が複数の層を含んでいる、請求項 1 に記載の半導体発光素子。

【請求項 3】 前記中間層は、接合前のその伝導帯下端のエネルギー位置が、接合前の前記上部クラッド層の伝導帯下端のエネルギー位置と接合前の前記電流拡散層の伝導帯下端のエネルギー位置との間に位置し、且つ／または、接合前のその価電子帯上端のエネルギー位置が、接合前の該上部クラッド層の価電子帯上端のエネルギー位置と接合前の該電流拡散層の価電子帯上端のエネルギー位置との間に位置する、請求項 1 に記載の半導体発光素子。

【請求項 4】 前記中間層が、前記上部クラッド層に接する第 1 中間層から前記電流拡散層に接する第 n 中間層（但し、 $n > 1$ ）に至る複数の層からなり、第 k 中間層（但し、 $1 \leq k \leq (n - 1)$ ）は第 $(k + 1)$ 中間層に比べて、接合前のその伝導帯下端のエネルギー位置が接合前の該上部クラッド層の伝導帯下端のエネルギー位置により近く、且つ／または、接合前のその価電子帯上端のエネルギー位置が接合前の該上部クラッド層の価電子帯上端のエネルギー位置により近い、請求項 1 に記載の半導体発光素子。

【請求項 5】 前記中間層の格子定数が、前記上部クラッド層の格子定数と前記電流拡散層の格子定数との中間の値を有する、請求項 1 に記載の半導体発光素子。

【請求項 6】 前記中間層が、前記上部クラッド層に接する第 1 中間層から前記電流拡散層に接する第 n 中間層（但し、 $n > 1$ ）に至る複数の層からなり、第 k 中間層（但し、 $1 \leq k \leq (n - 1)$ ）の格子定数の値は第 $(k + 1)$ 中間層の格子定数の値に比べて、該上部クラッド層の格子定数の値により近い、請求項 1 に記載の半導体発光素子。

【請求項 7】 前記中間層は、接合前のその伝導帯下端のエネルギー位置が、接合前の前記上部クラッド層の伝導帯下端のエネルギー位置と接合前の前記電流拡散層の伝導帯下端のエネルギー位置との間に位置し、且つ／または、接合前のその価電子帯上端のエネルギー位置が、

2

接合前の該上部クラッド層の価電子帯上端のエネルギー位置と接合前の該電流拡散層の価電子帯上端のエネルギー位置との間に位置し、さらに、該中間層の格子定数が、該上部クラッド層の格子定数と該電流拡散層の格子定数との中間の値を有する、請求項 1 に記載の半導体発光素子。

【請求項 8】 前記中間層が、前記上部クラッド層に接する第 1 中間層から前記電流拡散層に接する第 n 中間層（但し、 $n > 1$ ）に至る複数の層からなり、第 k 中間層（但し、 $1 \leq k \leq (n - 1)$ ）は第 $(k + 1)$ 中間層に比べて、接合前のその伝導帯下端のエネルギー位置が接合前の該上部クラッド層の伝導帯下端のエネルギー位置により近く、且つ／または、接合前のその価電子帯上端のエネルギー位置が接合前の該上部クラッド層の価電子帯上端のエネルギー位置により近く、その格子定数の値は該上部クラッド層の格子定数の値により近い、請求項 1 に記載の半導体発光素子。

【請求項 9】 前記中間層の組成が、前記上部クラッド層の組成から前記電流拡散層の組成にかけて連続的に変化している、請求項 1 に記載の半導体発光素子。

【請求項 10】 前記積層構造が AlGaInP 系化合物半導体材料から構成され、前記中間層が AlInAs 系化合物半導体材料から構成され、前記電流拡散層が AlGaP 系化合物半導体材料から構成されている、請求項 1 に記載の半導体発光素子。

【請求項 11】 前記積層構造が AlGaInP 系化合物半導体材料から構成され、前記中間層が GaAsP 系化合物半導体材料から構成され、前記電流拡散層が AlGaP 系化合物半導体材料から構成されている、請求項 1 に記載の半導体発光素子。

【請求項 12】 前記積層構造及び前記中間層がいずれも AlGaInP 系化合物半導体材料から構成され、前記電流拡散層が AlGaP 系化合物半導体材料から構成されている、請求項 1 に記載の半導体発光素子。

【請求項 13】 前記中間層のキャリア濃度が約 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上かつ $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以下である、請求項 1 に記載の半導体発光素子。

【請求項 14】 前記中間層の厚さが約 $0.01 \mu\text{m}$ 以上かつ約 $5 \mu\text{m}$ 以下である、請求項 1 に記載の半導体発光素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は半導体発光素子に関わり、特に、 AlGaInP 系材料のように、積層構造を形成した際にその接合界面におけるエネルギーバンドプロファイルに不連続（ノッチ）が生じる半導体材料を用いて製造される半導体発光素子に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 AlGaInP 系材料は、窒化物を除く III-V 族化合物半導体材料の中で最大の直接遷移型

バンドギャップを有し、波長が0.5～0.6μm帯の発光素子材料として注目されている。特に、GaAsを基板とし、これに格子整合するAlGaInP系材料による発光部（活性層を含む積層構造）をGaAs基板の上に成長させて形成されているpn接合型発光ダイオード（LED）は、従来のGaPやGaAsPなどの間接遷移型の材料を用いたものに比べて、赤色から緑色に相当する波長域で、より高輝度の発光が可能である。

【0003】高輝度のLEDを形成するためには、発光効率を高めることに加えて、発光部への電流注入効率の向上や、素子外部への光の効率的な取り出しを実現することが重要である。

【0004】図11は、AlGaInP系材料を用いた発光部を有する、従来技術によるLED1100の断面図である。

【0005】LED1100では、n型GaAs基板1110の上に、n型AlGaInP下部クラッド層1120、AlGaInP活性層1130、p型AlGaInP上部クラッド層1140、及びp型GaP電流拡散層1150が順次積層されている。さらに、p型GaP電流拡散層1150の上にはp型電極1160が形成され、また、n型GaAs基板1110の下面にはn型電極1170が形成され、これによってLED1100が構成されている。

【0006】LED1100では、電流拡散層1150の材料としてp型GaPを用いている。電流拡散層1150の構成材料としては、p型GaPの他にp型AlGaAsが用いられ得る。しかし、p型GaPは光透過率及び電気伝導率がp型AlGaAsより大きいので、電流拡散層1150の構成材料としてGaPを用いる場合には、光の取り出し効率が向上するとともに電流の拡がりが改善される。さらに、組成にAlを含まないために、長期間にわたって高い信頼性を確保することができる。

【0007】上述のLED1100では、p型GaP電流拡散層1150は、p型AlGaInPクラッド層1140の上に結晶成長によって形成されている。しかし、このとき、両者の格子定数の違いから、p型GaP電流拡散層1150の結晶性が十分に良好なものではない。このため、電流の拡がりの度合いが十分ではなく、また光透過率が低いという問題点が生じる。

【0008】この問題を解決するために、例えば特開平6-296040号公報には、以下のようなLED及びその製造方法が提案されている。図12(a)～(c)は、上記公開公報に開示されているLED1200の構成及びその製造工程を示す断面図である。

【0009】LED1200の製造にあたっては、まず図12(a)に示すように、n型GaAs基板1210の上にn型AlGaInP下部クラッド層1220、AlGaInP活性層1230、及びp型AlGaInP

上部クラッド層1240を順次積層する。これらのn型下部クラッド層1220、活性層1230、及びp型上部クラッド層1240によって、LED1200の発光部を含む積層構造が形成される。

【0010】次いで、p型AlGaInP上部クラッド層1240の上に、p型GaPキャップ層1250を成長する。次に、GaPキャップ層1250の上に、p型GaP基板1260を結晶軸を一致させて配置する。さらに、p型GaP基板1260の上に適当な重さの重り1270を乗せ、H₂雰囲気中にて約650℃で熱処理を行って、GaPキャップ層1250とp型GaP基板1260とを接合させる。接合後には、このp型GaP基板1260は、形成されるLED1200の電流拡散層1260として機能する。

【0011】その後、図12(b)に示すように、p型GaP電流拡散層1260の上にp型電極1280を、成膜プロセス及びエッチングにより形成する。p型電極1280は、例えば円形に加工する。次に、n型GaAs基板1210をエッチングして10μm程度の厚さにした後に、n型GaAs基板1210の裏面全体にわたってn型電極1290を形成する（図12(b)）。

【0012】その後、図12(c)に示すように、n型電極1290及びGaAs基板1210をフォトリソグラフィにより適当な形状にエッチングして、LED1200を得る。

【0013】上記に説明したLED1200では、電流拡散層1260となるp型GaP基板を、GaPキャップ層1250の上に直接接合する。これにより、p型GaP電流拡散層1260を比較的容易に形成することができて、生産性が向上する。また、結晶性の良い基板を用いることによって結晶性の良いp型GaP電流拡散層1260を得ることができるために、光の取り出し効率が向上する。さらに、n型GaAs基板1210及びn型電極1290を適切な形状にパターンニングすることによって、下方向へ光を取り出すための「窓」が形成される。このことによって、光の取り出し効率が向上する。

【0014】

【発明が解決しようとする課題】前述のような構成を有するLED1100では、p型AlGaInP上部クラッド層1140の上に、p型GaP電流拡散層1150が形成される。このとき、p型AlGaInP上部クラッド層1140とp型GaP電流拡散層1150との間の界面では、エネルギーバンドプロファイルに大きなノッチ、すなわち不連続が生じる。一方、LED1200では、p型AlGaInP上部クラッド層1240の上に、p型GaPキャップ層1250を介してp型GaP電流拡散層1260が形成されるが、この場合にも、上部クラッド層1240の構成材料であるp型AlGaInP

n Pと、キャップ層1250及び電流拡散層1260の構成材料であるp型GaPとの接合界面では、同様にエネルギーバンドプロファイルに不連続（ノッチ）が生じる。

【0015】このようなエネルギーバンドプロファイルにおけるノッチの発生について、図13（a）～（c）を参照して説明する。

【0016】一般に半導体材料同士のヘテロ接合は、接合前のエネルギーバンドの位置関係に基づいて、タイプI、タイプII、及びタイプIIIの3種類に大別される。

図13（a）～（c）は、タイプI～タイプIIIのそれぞれにおける接合前及び接合後のエネルギーバンドプロファイルを示す。いずれのタイプにおいても、接合にともなって、接合界面近傍のエネルギーバンドプロファイルに不連続部、すなわちノッチが生ずる。

【0017】以下では、真空準位を基準としたときの伝導帯下端 E_c や価電子帯上端 E_v のエネルギーレベルを、それぞれの「エネルギー位置」と称することとする。このとき、接合後の伝導帯下端 E_c に現れるノッチの高さは、接合前の2つの材料の伝導帯下端のエネルギー位置の差（ ΔE_c ）に相当する。同様に、接合後の価電子帯上端 E_v に現れるノッチの高さは、接合前の2つの材料の価電子帯上端のエネルギー位置の差（ ΔE_v ）に相当する。ノッチの高さを決定するこれらのエネルギー位置の差は、例えば、Appl. Phys. Lett., Vol. 60, No. 5, p. 630-632 (1992) に示されているSandip Tiwariらが求めたエネルギー位置関係から得ることができる。

【0018】上述のLED1100では、p型AlGaInP上部クラッド層1140の上にp型GaP電流拡散層1150が形成される。このとき、p型AlGaInP上部クラッド層1140とp型GaP電流拡散層1150との接合界面におけるエネルギーバンドプロファイルに生じる大きなノッチ、すなわち不連続の様子を、図14（a）～（c）を参照して説明する。

【0019】p型（ $Al_{1-x}Ga_xIn_{1-y}P$ ）（例えば $x=1$ ）とp型GaPとを接合する場合、接合前のそれらのエネルギーバンドプロファイルは、その電子親和力の差により図14（a）に示す位置関係となる。これは、先に示した図13（b）のタイプIIに相当する。このようなエネルギー位置関係にあるp型（ $Al_{1-x}Ga_xIn_{1-y}P$ ）とp型GaPとを接合すると、接合後には図14（b）に示すようなエネルギーバンドプロファイルとなり、伝導帯下端 E_c 及び価電子帯上端 E_v のそれぞれにノッチが生ずる。具体的には、この場合のノッチの高さは、伝導帯下端で0.25 eVであり、価電子帯上端では0.29 eVとなる。

【0020】エネルギーバンドプロファイルにこのようなノッチが生じると、次に述べる現象が起こる。

【0021】完成したLEDの動作時には順方向バイアスが印加されるので、接合後のエネルギーバンドプロフ

ファイルにおいて、図14（c）に示すようにその接合面に向かって右側からホール（h）が、また左側から電子（e）が供給される。供給された電子の半数以上はAlGaInP活性層で再結合するが、その残数はオーバーフローして、p型AlGaInPクラッド層とp型GaP電流拡散層との界面に達する。この界面に達した電子に対して、接合界面に存在している伝導帯下端 E_c のノッチがエネルギー障壁として作用するため、電子は接合界面に蓄積する。一方、この界面近傍では、価電子帯上端 E_v のノッチが多数キャリアであるホールに対するエネルギー障壁として作用して、ここにトラップされたホールが存在している。この結果、接合界面においては、図14（c）に模式的に示すように、電子とホールとの再結合が多数生じる。

【0022】さらに、（ $Al_{1-x}Ga_xIn_{1-y}P$ ）とGaPとの格子定数はそれぞれ5.65 Å及び5.45 Åであり、両者は格子不整合である。このために、P型AlGaInP/p型GaP界面には、多数の界面準位が存在する。この界面準位の存在も、接合界面における上記の再結合を増長している。

【0023】この様に、p型AlGaInP/p型GaP界面でエネルギーバンドプロファイルに存在するノッチは、接合界面でのキャリアの再結合を多数生じさせる。この再結合により、ホールの供給数が実質的に減少して活性層へのキャリアの注入効率が減る。このため、従来の構成の半導体発光素子（LED）では、発光効率の低下が生じる。さらに、接合界面でのエネルギーバンドプロファイルに存在するノッチはキャリアの移動に対して障壁となるため、LEDを点灯させるために必要な電圧値（動作電圧値）を増加させる。

【0024】このような接合界面でのエネルギーバンドプロファイルにおけるノッチの発生に対して、従来では、バンドギャップ（すなわち、価電子帯上端と伝導帯下端とのエネルギーレベルの差）の大きさに基づいて、適切な材料からなる中間層を接合界面に挿入するという手法が用いられている。例えば、接合される2つの材料のバンドギャップの大きさがそれぞれ E_{g1} 及び E_{g2} （ $E_{g1} > E_{g2}$ とする）であるときに、 $E_{g1} > E_{g3} > E_{g2}$ となるようなバンドギャップ E_{g3} を有する材料からなる層（中間バンドギャップ層）を接合界面に挿入する。これによって、発生するノッチの大きさを低減する。

【0025】バンドギャップの大きさがそれぞれ E_{g1} 及び E_{g2} である2つの層を接合する場合、中間バンドギャップ層を設けなければ、図15（a）に示すように接合後のエネルギーバンドプロファイルには大きなノッチが生じる。これに対して、図15（b）に示すように大きさ E_{g3} のバンドギャップを有する中間バンドギャップ層を介して両者を接合すれば、ノッチが中間バンドギャップ層に関わる2つの界面に分散して形成されるこ

とになり、結果的に、生じるノッチの大きさが低減されることになる。

【0026】しかし、バンドギャップの大きさ E_g のみに着目する上記の従来の手法では、接合対象である 2 つの材料のエネルギーバンドの位置関係（価電子帯上端及び伝導帯下端のエネルギー位置の関係）によっては、十分なノッチ低減効果が得られないことがある。

【0027】本発明は、上記課題を解決すべくなされたものであり、その目的は、半導体発光素子において、エネルギーバンドプロファイルにおいて接合界面に生じるノッチの低減或いはノッチ及びクラッド層と電流拡散層との間の界面準位の低減によって活性層へのキャリア注入効率を上げ、また、電流拡散層の結晶性を上げることによって電流拡散層における電流拡がり及び光取り出し効率を向上し、これらによって、動作電圧が低減するとともに光出力特性が向上した半導体発光素子を提供することである。

【0028】

【課題を解決するための手段】本発明の半導体発光素子は、第 1 導電型の化合物半導体基板と、該化合物半導体基板の上に形成された積層構造であって、少なくとも発光のための活性層と該活性層を両側から挟み込む第 1 導電型の下部クラッド層及び第 2 導電型の上部クラッド層とを含む、積層構造と、該積層構造の上に形成された第 2 導電型の電流拡散層と、を有する半導体発光素子である。該中間層は、該上部クラッド層と該電流拡散層との間で、格子不整合と接合前のエネルギーバンドプロファイルにおける伝導帯下端及び／または価電子帯上端のエネルギー位置の差とのうちの少なくとも一方を緩和し、そのことによって上記目的が達成される。

【0029】前記中間層は、複数の層を含んでもよい。

【0030】ある実施形態では、前記中間層は、接合前のその伝導帯下端のエネルギー位置が、接合前の前記上部クラッド層の伝導帯下端のエネルギー位置と接合前の前記電流拡散層の伝導帯下端のエネルギー位置との間に位置し、且つ／または、接合前のその価電子帯上端のエネルギー位置が、接合前の該上部クラッド層の価電子帯上端のエネルギー位置と接合前の該電流拡散層の価電子帯上端のエネルギー位置との間に位置する。

【0031】他の実施形態では、前記中間層が、前記上部クラッド層に接する第 1 中間層から前記電流拡散層に接する第 n 中間層（但し、 $n > 1$ ）に至る複数の層からなり、第 k 中間層（但し、 $1 \leq k \leq (n-1)$ ）は第 $(k+1)$ 中間層に比べて、接合前のその伝導帯下端のエネルギー位置が接合前の該上部クラッド層の伝導帯下端のエネルギー位置により近く、且つ／または、接合前のその価電子帯上端のエネルギー位置が接合前の該上部クラッド層の価電子帯上端のエネルギー位置により近

い。

【0032】さらに他の実施形態では、前記中間層の格子定数が、前記上部クラッド層の格子定数と前記電流拡散層の格子定数との中間の値を有する。

【0033】さらに他の実施形態では、前記中間層が、前記上部クラッド層に接する第 1 中間層から前記電流拡散層に接する第 n 中間層（但し、 $n > 1$ ）に至る複数の層からなり、第 k 中間層（但し、 $1 \leq k \leq (n-1)$ ）の格子定数の値は第 $(k+1)$ 中間層の格子定数の値に比べて、該上部クラッド層の格子定数の値により近い。

【0034】さらに他の実施形態では、前記中間層は、接合前のその伝導帯下端のエネルギー位置が、接合前の前記上部クラッド層の伝導帯下端のエネルギー位置と接合前の前記電流拡散層の伝導帯下端のエネルギー位置との間に位置し、且つ／または、接合前のその価電子帯上端のエネルギー位置が、接合前の該上部クラッド層の価電子帯上端のエネルギー位置と接合前の該電流拡散層の価電子帯上端のエネルギー位置との間に位置し、さらに、該中間層の格子定数が、該上部クラッド層の格子定数と該電流拡散層の格子定数との中間の値を有する。

【0035】さらに他の実施形態では、前記中間層が、前記上部クラッド層に接する第 1 中間層から前記電流拡散層に接する第 n 中間層（但し、 $n > 1$ ）に至る複数の層からなり、第 k 中間層（但し、 $1 \leq k \leq (n-1)$ ）は第 $(k+1)$ 中間層に比べて、接合前のその伝導帯下端のエネルギー位置が接合前の該上部クラッド層の伝導帯下端のエネルギー位置により近く、且つ／または、接合前のその価電子帯上端のエネルギー位置が接合前の該上部クラッド層の価電子帯上端のエネルギー位置により近く、その格子定数の値は該上部クラッド層の格子定数の値により近い。

【0036】さらに他の実施形態では、前記中間層の組成が、前記上部クラッド層の組成から前記電流拡散層の組成にかけて連続的に変化している。

【0037】さらに他の実施形態では、前記積層構造が $AlGaInP$ 系化合物半導体材料から構成され、前記中間層が $AlInAs$ 系化合物半導体材料から構成され、前記電流拡散層が $AlGaP$ 系化合物半導体材料から構成されている。

【0038】さらに他の実施形態では、前記積層構造が $AlGaInP$ 系化合物半導体材料から構成され、前記中間層が $GaAsP$ 系化合物半導体材料から構成され、前記電流拡散層が $AlGaP$ 系化合物半導体材料から構成されている。

【0039】さらに他の実施形態では、前記積層構造及び前記中間層がいずれも $AlGaInP$ 系化合物半導体材料から構成され、前記電流拡散層が $AlGaP$ 系化合物半導体材料から構成されている。

【0040】好ましくは、前記中間層のキャリア濃度が約 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上かつ $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以下であ

10

20

30

40

50

る。

【0041】また、好ましくは、前記中間層の厚さが約 $0.01\mu\text{m}$ 以上かつ約 $5\mu\text{m}$ 以下である。

【0042】以下、作用について説明する。

【0043】エネルギーバンドプロファイルに生じる不連続（ノッチ）は、接合前の状態における伝導帯下端や価電子帯上端のエネルギー位置が、接合される半導体材料層（具体的には、上部クラッド層及び電流拡散層）によって異なる場合に生じる。接合後の伝導帯下端に現れるノッチの高さは、接合前の2つの半導体材料層の伝導帯下端のエネルギー位置の差に相当する。同様に、接合後の価電子帯上端に現れるノッチの高さは、接合前の2つの半導体材料層の価電子帯上端のエネルギー位置の差に相当する。これより、ノッチの高さは、接合前の上部クラッド層及び電流拡散層において、伝導帯下端や価電子帯上端のエネルギー位置の差が大きいくほど高くなる。

【0044】そこで、接合前のその伝導帯下端のエネルギー位置が接合前の上部クラッド層の伝導帯下端のエネルギー位置と接合前の電流拡散層の伝導帯下端のエネルギー位置との間に位置し、且つ／または、接合前のその価電子帯上端のエネルギー位置が接合前の上部クラッド層の価電子帯上端のエネルギー位置と接合前の電流拡散層の価電子帯上端のエネルギー位置との間に位置するような中間層を設けることによって、ノッチが中間層の両端、すなわち中間層と上部クラッド層との界面及び中間層と電流拡散層との界面に、それぞれ分割されて生じる。その結果、それぞれの界面に現れるノッチの高さが低くなる。

【0045】また、ノッチの高さが低減されれば、ノッチの厚さもまた薄くなる。これより、電子のトンネル効果によって、ノッチの障壁としての効果が低減される。

【0046】このようなノッチの分割の効果により上部クラッド層と電流拡散層との界面におけるノッチの高さ及び幅が低減されると、ノッチによるキャリアの蓄積が低減され、接合界面におけるキャリアの再結合を低減することができる。キャリア再結合が低減されれば、活性層へのキャリアの注入効率が向上するため、発光効率が向上する。さらに、ノッチのキャリアに対する障壁としての機能も低減されるので、動作電圧値が低減される。

【0047】一方、上部クラッド層と電流拡散層との間に格子不整合が生じている場合、その格子定数が上部クラッド層の格子定数と電流拡散層の格子定数との中間となるような材料を選択して中間層を構成することによって、格子不整合が緩和される。これにより、形成される界面準位の量が低減される。これによっても、接合界面でのキャリアの再結合が低減され、活性層へのキャリアの注入効率が向上して発光効率が向上する。

【0048】また、上記のように格子不整合を緩和することによって、電流拡散層を結晶成長によって形成する場合に、電流拡散層の結晶性を向上することができる。

このように結晶性が向上すると、電流の拡散が増長されるとともに光透過率が向上するので、発光効率や光取り出し効率が向上する。

【0049】中間層を複数の層より構成すれば、ノッチがさらに多くの界面に分割して形成されるので、キャリア再結合の低減やそれにとまう発光効率の向上などの上述の効果を、さらに高めることができる。

【0050】さらに、中間層を、その組成が上部クラッド層の組成から電流拡散層の組成にかけて連続的に変化するよう構成すれば、エネルギーバンドプロファイルにおけるノッチや格子不整合の発生を完全に無くすることができる。これによって、キャリア再結合の低減や発光効率の向上などの上記効果を、さらに高めることができる。

【0051】

【発明の実施の形態】

（第1の実施形態）本発明の第1の実施形態における半導体発光素子として、発光ダイオード（LED）100を、図1（a）及び（b）を参照して説明する。図1

（a）は、LED100の構成を示す断面図であり、図1（b）は、LED100の上部クラッド層から電流拡散層にかけての積層構造の接合界面におけるエネルギーバンドプロファイルを模式的に示す図である。

【0052】図1（a）に示すように、LED100では、n型GaAs基板11の上に、n型（ $\text{Al}_{1-x}\text{Ga}_x\text{In}_{0.49}\text{P}$ （ $0 \leq x \leq 1$ ））下部クラッド層12（例えば、 $x=1.0$ 及び厚さ約 $1.0\mu\text{m}$ ）、（ $\text{Al}_{1-x}\text{Ga}_x\text{In}_{0.49}\text{P}$ （ $0 \leq x \leq 1$ ））活性層13（例えば、 $x=0.3$ 及び厚さ約 $0.5\mu\text{m}$ ）、及びp型（ $\text{Al}_{1-x}\text{Ga}_x\text{In}_{0.49}\text{P}$ （ $0 \leq x \leq 1$ ））上部クラッド層14（例えば、 $x=1.0$ 及び厚さ約 $1.0\mu\text{m}$ ）を、順次積層する。このうち、n型 AlGaInP 下部クラッド層12には、キャリア濃度が約 $5 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ となるようにSiがドーブされている。

一方、p型 AlGaInP 上部クラッド層14には、キャリア濃度が約 $5 \times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ となるように、Znがドーブされている。これらのn型下部クラッド層12、活性層13、及びp型上部クラッド層14によって、LED100の発光部を含む積層構造が形成される。

【0053】次いで、p型 AlGaInP 上部クラッド層14の上に、p型 AlInAs 中間層15（例えば、 $y=0.79$ 及び厚さ約 $0.1\mu\text{m}$ ）を積層する。このp型 AlInAs 中間層15には、キャリア濃度が約 $1 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ となるようにZnがドーブされている。

【0054】さらに、p型 AlInAs 中間層15の上には、p型GaP電流拡散層16（例えば、厚さ約 $7\mu\text{m}$ ）を形成する。このp型GaP電流拡散層16には、キャリア濃度が約 $2 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ となるようにZnがドーブされている。

【0055】次に、p型GaP電流拡散層16の上に例えばAu-Zn膜を蒸着して、これを例えば円形にパターンニングしてp型電極17を形成する。一方、GaAs基板11の下面には、例えばAu-Ge膜からなるn型電極18を蒸着により形成する。これによって、LED100が完成する。

【0056】図1(b)は、上記のようにして形成される本実施形態のLED100における、p型AlGaInP上部クラッド層14からp型GaP電流拡散層16にかけてのエネルギーバンドプロファイルを模式的に示す図である。

【0057】先に図14(b)を参照して説明したように、p型AlGaInP上部クラッド層とp型GaP電流拡散層との間に中間層を有しない従来のLEDでは、p型AlGaInP上部クラッド層とp型GaP電流拡散層との界面において、伝導帯下端にはエネルギー差0.25eVのノッチが発生し、価電子帯上端にはエネルギー差0.29eVのノッチが発生する。それに対して、本実施形態に従って形成されるLED100では、p型AlGaInP上部クラッド層14とp型GaP電流拡散層16との間にp型AlInAs中間層15を挿入することにより、ノッチが複数の接合界面に分散して発生するようになる。この結果、伝導帯下端に発生するノッチはそのエネルギー差が最大で約0.20eVとなり、価電子帯上端に発生するノッチはそのエネルギー差が最大で約0.24eVとなり、それぞれ従来技術における値よりも低減される。

【0058】この様なノッチの低減により、本実施形態によるLED100では、従来技術では約2.5Vであった動作電流20mAの時の動作電圧が約2.4Vに低減する一方で、そのときの発光輝度が約1.1倍向上する。

【0059】(第2の実施形態)本発明の第2の実施形態における半導体発光素子として、発光ダイオード(LED)200を、図2(a)及び(b)を参照して説明する。図2(a)は、LED200の構成を示す断面図であり、図2(b)は、LED200の上部クラッド層から電流拡散層にかけての積層構造の接合界面におけるエネルギーバンドプロファイルを模式的に示す図である。

【0060】図2(a)に示すように、LED200では、n型GaAs基板21の上に、n型(A_{1-x}Ga_x)_{0.51}In_{0.49}P(0≤x≤1)下部クラッド層22(例えば、x=1.0及び厚さ約1.0μm)、(A_{1-x}Ga_x)_{0.51}In_{0.49}P(0≤x≤1)活性層23(例えば、x=0.3及び厚さ約0.5μm)、及びp型(A_{1-x}Ga_x)_{0.51}In_{0.49}P(0≤x≤1)上部クラッド層24(例えば、x=1.0及び厚さ約1.0μm)を、順次積層する。このうち、n型AlGaInP下部クラッド層22には、キャリア濃度が約5

×10¹⁸cm⁻³となるようにSiがドーブされている。

一方、p型AlGaInP上部クラッド層24には、キャリア濃度が約5×10¹⁸cm⁻³となるように、Znがドーブされている。これらのn型下部クラッド層22、活性層23、及びp型上部クラッド層24によって、LED200の発光部を含む積層構造が形成される。

【0061】次いで、p型AlGaInP上部クラッド層24の上に、p型Al_{1-y}In_yAs第1中間層25

(例えば、y=0.88及び厚さ約0.1μm)、及びp型Al_{1-y}In_yAs第2中間層26(例えば、y=0.72及び厚さ約0.1μm)を順に積層する。この第1及び第2のp型AlInAs中間層25及び26には、キャリア濃度がそれぞれ約1×10¹⁸cm⁻³となるように、Znがドーブされている。

【0062】さらに、第2のp型AlInAs中間層26の上には、p型GaP電流拡散層27(例えば、厚さ約7μm)を形成する。このp型GaP電流拡散層27には、キャリア濃度が約2×10¹⁸cm⁻³となるようにZnがドーブされている。

【0063】次に、p型GaP電流拡散層27の上に例えばAu-Zn膜を蒸着して、これを例えば円形にパターンニングしてp型電極28を形成する。一方、GaAs基板21の下面には、例えばAu-Ge膜からなるn型電極29を蒸着により形成する。これによって、LED200が完成する。

【0064】図2(b)は、上記のようにして形成される本実施形態のLED200における、p型AlGaInP上部クラッド層24からp型GaP電流拡散層27にかけてのエネルギーバンドプロファイルを模式的に示す図である。

【0065】先に図14(b)を参照して説明したように、p型AlGaInP上部クラッド層とp型GaP電流拡散層との間に中間層を有しない従来のLEDでは、p型AlGaInP上部クラッド層とp型GaP電流拡散層との界面において、伝導帯下端にはエネルギー差0.25eVのノッチが発生し、価電子帯上端にはエネルギー差0.29eVのノッチが発生する。それに対して、本実施形態に従って形成されるLED200では、p型AlGaInP上部クラッド層24とp型GaP電流拡散層27との間に第1及び第2のp型AlInAs中間層25及び26を挿入することにより、ノッチが複数の接合界面に分散して発生するようになる。この結果、伝導帯下端に発生するノッチはそのエネルギー差が最大で約0.15eVとなり、価電子帯上端に発生するノッチはそのエネルギー差が最大で約0.18eVとなり、それぞれ従来技術における値よりも低減される。

【0066】この様なノッチの低減により、本実施形態によるLED200では、従来技術では約2.5Vであった動作電流20mAの時の動作電圧が約2.3Vに低減する一方で、そのときの発光輝度が約1.2倍向上す

る。

【0067】（第3の実施形態）本発明の第3の実施形態における半導体発光素子として、発光ダイオード（LED）300を、図3を参照して説明する。図3は、LED300の構成を示す断面図である。

【0068】図3に示すように、LED300では、n型GaAs基板31の上に、n型 $(Al_{1-x}Ga_x)_{0.51}In_{0.49}P$ （ $0 \leq x \leq 1$ ）下部クラッド層32（例えば、 $x = 1.0$ 及び厚さ約 $1.0 \mu m$ ）、 $(Al_{1-x}Ga_x)_{0.51}In_{0.49}P$ （ $0 \leq x \leq 1$ ）活性層33（例えば、 $x = 0.3$ 及び厚さ約 $0.5 \mu m$ ）、及びp型 $(Al_{1-x}Ga_x)_{0.51}In_{0.49}P$ （ $0 \leq x \leq 1$ ）上部クラッド層34（例えば、 $x = 1.0$ 及び厚さ約 $1.0 \mu m$ ）を、順次積層する。このうち、n型AlGaInP下部クラッド層32には、キャリア濃度が約 $5 \times 10^{18} cm^{-3}$ となるようにSiがドーピングされている。一方、p型AlGaInP上部クラッド層34には、キャリア濃度が約 $5 \times 10^{18} cm^{-3}$ となるように、Znがドーピングされている。これらのn型下部クラッド層32、活性層33、及びp型上部クラッド層34によって、LED300の発光部を含む積層構造が形成される。

【0069】次いで、p型AlGaInP上部クラッド層34の上に、p型GaAs P_{1-x} 中間層35（例えば、 $x = 0.5$ 及び厚さ約 $0.1 \mu m$ ）を積層する。このp型GaAsP中間層35には、キャリア濃度が約 $1 \times 10^{18} cm^{-3}$ となるように、Znがドーピングされている。

【0070】さらに、p型GaAsP中間層35の上には、p型GaP電流拡散層36（例えば、厚さ約 $7 \mu m$ ）を形成する。このp型GaP電流拡散層36には、キャリア濃度が約 $2 \times 10^{18} cm^{-3}$ となるようにZnがドーピングされている。

【0071】次に、p型GaP電流拡散層36の上に例えばAu-Zn膜を蒸着して、これを例えば円形にパターンニングしてp型電極37を形成する。一方、GaAs基板31の下面には、例えばAu-Ge膜からなるn型電極38を蒸着により形成する。これによって、LED300が完成する。

【0072】上記のように構成される本実施形態のLED300では、p型AlGaInP上部クラッド層34、p型GaAs P_{1-x} 中間層35、及びp型GaP電流拡散層36の格子定数は、それぞれ 5.65 \AA 、 5.55 \AA 及び 5.45 \AA である。これより、p型GaAs P_{1-x} 中間層35が、p型AlGaInP上部クラッド層34とp型GaP電流拡散層36との間の格子不整合を緩和する構成となっている。この様な中間層35による格子不整合の緩和により、本実施形態のLED300では、従来のLEDに比べて発光輝度が約1.2倍に向上する。

【0073】（第4の実施形態）本発明の第4の実施形

態における半導体発光素子として、発光ダイオード（LED）400を、図4を参照して説明する。図4は、LED400の構成を示す断面図である。

【0074】図4に示すように、LED400では、n型GaAs基板41の上に、n型 $(Al_{1-x}Ga_x)_{0.51}In_{0.49}P$ （ $0 \leq x \leq 1$ ）下部クラッド層42（例えば、 $x = 1.0$ 及び厚さ約 $1.0 \mu m$ ）、 $(Al_{1-x}Ga_x)_{0.51}In_{0.49}P$ （ $0 \leq x \leq 1$ ）活性層43（例えば、 $x = 0.3$ 及び厚さ約 $0.5 \mu m$ ）、及びp型 $(Al_{1-x}Ga_x)_{0.51}In_{0.49}P$ （ $0 \leq x \leq 1$ ）上部クラッド層44（例えば、 $x = 1.0$ 及び厚さ約 $1.0 \mu m$ ）を、順次積層する。このうち、n型AlGaInP下部クラッド層42には、キャリア濃度が約 $5 \times 10^{18} cm^{-3}$ となるようにSiがドーピングされている。一方、p型AlGaInP上部クラッド層44には、キャリア濃度が約 $5 \times 10^{18} cm^{-3}$ となるように、Znがドーピングされている。これらのn型下部クラッド層42、活性層43、及びp型上部クラッド層44によって、LED400の発光部を含む積層構造が形成される。

【0075】次いで、p型AlGaInP上部クラッド層44の上に、p型GaAs P_{1-x} 第1中間層45（例えば、 $x = 0.6$ 及び厚さ約 $0.1 \mu m$ ）、及びp型GaAs P_{1-x} 第2中間層46（例えば、 $x = 0.3$ 及び厚さ約 $0.1 \mu m$ ）を順に積層する。この第1及び第2のp型GaAsP中間層45及び46には、キャリア濃度がそれぞれ約 $1 \times 10^{18} cm^{-3}$ となるように、Znがドーピングされている。

【0076】さらに、第2のp型GaAsP中間層46の上には、p型GaP電流拡散層47（例えば、厚さ約 $7 \mu m$ ）を形成する。このp型GaP電流拡散層47には、キャリア濃度が約 $2 \times 10^{18} cm^{-3}$ となるようにZnがドーピングされている。

【0077】次に、p型GaP電流拡散層47の上に例えばAu-Zn膜を蒸着して、これを例えば円形にパターンニングしてp型電極48を形成する。一方、GaAs基板41の下面には、例えばAu-Ge膜からなるn型電極49を蒸着により形成する。これによって、LED400が完成する。

【0078】上記のように構成される本実施形態のLED400では、p型AlGaInPクラッド層44、p型GaAs P_{1-x} 第1中間層45、p型GaAs P_{1-x} 第2中間層46、及びp型GaP電流拡散層47の格子定数が、それぞれ 5.65 \AA 、 5.57 \AA 、 5.51 \AA 及び 5.45 \AA となっており、p型GaAs P_{1-x} 第1中間層45及びp型GaAs P_{1-x} 第2中間層46が、p型AlGaInPクラッド層44とp型GaP電流拡散層47との間の格子不整合を緩和する構成となっている。この様な第1及び第2のp型GaAsP中間層45及び46による格子不整合の緩和により、本実施形態のLED400では、従来のLEDに比べて発光輝度が約

1. 3倍に向上する。

【0079】(第5の実施形態)本発明の第5の実施形態における半導体発光素子として、発光ダイオード(LED)500を、図5(a)及び(b)を参照して説明する。図5(a)は、LED500の構成を示す断面図であり、図5(b)は、LED500の上部クラッド層から電流拡散層にかけての積層構造の接合界面におけるエネルギーバンドプロファイルを模式的に示す図である。

【0080】図5(a)に示すように、LED500では、n型GaAs基板51の上に、n型(Al,Ga)_{1-x}In_{0.49}P(0≤x≤1)下部クラッド層52(例えば、x=1.0及び厚さ約1.0μm)、(Al,Ga)_{1-x}In_{0.49}P(0≤x≤1)活性層53(例えば、x=0.3及び厚さ約0.5μm)、及びp型(Al,Ga)_{1-x}In_{0.49}P(0≤x≤1)上部クラッド層54(例えば、x=1.0及び厚さ約1.0μm)を、順次積層する。このうち、n型AlGaInP下部クラッド層52には、キャリア濃度が約5×10¹⁷cm⁻³となるようにSiがドーピングされている。一方、p型AlGaInP上部クラッド層54には、キャリア濃度が約5×10¹⁷cm⁻³となるように、Znがドーピングされている。これらのn型下部クラッド層52、活性層53、及びp型上部クラッド層54によって、LED500の発光部を含む積層構造が形成される。

【0081】次いで、p型AlGaInP上部クラッド層54の上に、p型Ga_{1-u}In_vAl_{1-u-v}P中間層55(例えば、u=v=0.25及び厚さ約0.1μm)を積層する。このp型Ga_{1-u}In_vAl_{1-u-v}P中間層55には、キャリア濃度が約1×10¹⁸cm⁻³となるように、Znがドーピングされている。

【0082】さらに、p型Ga_{1-u}In_vAl_{1-u-v}P中間層55の上には、p型GaP電流拡散層56(例えば、厚さ約7μm)を形成する。このp型GaP電流拡散層56には、キャリア濃度が約2×10¹⁸cm⁻³となるようにZnがドーピングされている。

【0083】次に、p型GaP電流拡散層56の上に例えばAu-Zn膜を蒸着して、これを例えば円形にパターンニングしてp型電極57を形成する。一方、GaAs基板51の下面には、例えばAu-Ge膜からなるn型電極58を蒸着により形成する。これによって、LED500が完成する。

【0084】図5(b)は、上記のようにして形成される本実施形態のLED500における、p型AlGaInP上部クラッド層54からp型GaP電流拡散層56にかけてのエネルギーバンドプロファイルを模式的に示す図である。

【0085】先に図14(b)を参照して説明したように、上部クラッド層と電流拡散層との間に中間層を有しない従来のLEDでは、p型AlGaInPクラッド層

とp型GaP電流拡散層との界面において、伝導帯下端にはエネルギー差0.25eVのノッチが発生し、価電子帯上端にはエネルギー差0.29eVのノッチが発生する。それに対して、本実施形態に従って形成されるLED500では、p型AlGaInP上部クラッド層54とp型GaP電流拡散層56との間にp型AlGaInP中間層55を挿入することにより、ノッチが複数の接合界面に分散して発生するようになる。この結果、伝導帯下端に発生するノッチはそのエネルギー差が最大で約0.13eVとなり、価電子帯上端に発生するノッチはそのエネルギー差が最大で約0.16eVとなり、それぞれ従来技術における値よりも低減される。

【0086】さらに、本実施形態のLED500では、p型AlGaInPクラッド層54、p型AlGaInP中間層55、p型GaP電流拡散層56の格子定数が、それぞれ5.65Å、5.55Å及び5.45Åとなっており、p型AlGaInP中間層55が、p型AlGaInPクラッド層54とp型GaP電流拡散層56との間の格子不整合を緩和する構成となっている。

【0087】この様な中間層55によるノッチの低減と格子不整合の緩和とにより、本実施形態によるLED500では、従来技術では約2.5Vであった動作電流20mAの時の動作電圧が約2.1Vに低減する一方で、そのときの発光輝度が約1.4倍向上する。

【0088】(第6の実施形態)本発明の第6の実施形態における半導体発光素子として、発光ダイオード(LED)600を、図6(a)及び(b)を参照して説明する。図6(a)は、LED600の構成を示す断面図であり、図6(b)は、LED600の上部クラッド層から電流拡散層にかけての積層構造の接合界面におけるエネルギーバンドプロファイルを模式的に示す図である。

【0089】図6(a)に示すように、LED600では、n型GaAs基板61の上に、n型(Al,Ga)_{1-x}In_{0.49}P(0≤x≤1)下部クラッド層62(例えば、x=1.0及び厚さ約1.0μm)、(Al,Ga)_{1-x}In_{0.49}P(0≤x≤1)活性層63(例えば、x=0.3及び厚さ約0.5μm)、及びp型(Al,Ga)_{1-x}In_{0.49}P(0≤x≤1)上部クラッド層64(例えば、x=1.0及び厚さ約1.0μm)を、順次積層する。このうち、n型AlGaInP下部クラッド層62には、キャリア濃度が約5×10¹⁷cm⁻³となるようにSiがドーピングされている。一方、p型AlGaInP上部クラッド層64には、キャリア濃度が約5×10¹⁷cm⁻³となるように、Znがドーピングされている。これらのn型下部クラッド層62、活性層63、及びp型上部クラッド層64によって、LED600の発光部を含む積層構造が形成される。

【0090】次いで、p型上部クラッド層64の上に、p型Ga_{1-u}In_vAl_{1-u-v}P第1中間層65(例えば、

$u=0.15$ 、 $v=0.20$ 及び厚さ約 $0.1\mu\text{m}$ ）、
p型 $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{Al}_y\text{P}$ 第2中間層66（例えば、
 $u=v=0.25$ 及び厚さ約 $0.1\mu\text{m}$ ）、及びp型 $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{Al}_y\text{P}$ 第3中間層67（例えば、 $u=$
 0.35 、 $v=0.30$ 及び厚さ約 $0.1\mu\text{m}$ ）を順に
積層する。この第1、第2及び第3のp型 GaInAlP
中間層65、66及び67には、キャリア濃度がそれ
ぞれ約 $1\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ となるようにZnがドーピングされ
ている。

【0091】さらに、第3のp型 GaInAlP 中間層
67の上には、p型GaP電流拡散層68（例えば、厚
さ約 $7\mu\text{m}$ ）を形成する。このp型GaP電流拡散層68
には、キャリア濃度が約 $2\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ となるよう
にZnがドーピングされている。

【0092】次に、p型GaP電流拡散層68の上に例
えばAu-Zn膜を蒸着して、これを例えば円形にパタ
ーニングしてp型電極69を形成する。一方、GaAs
基板61の下面には、例えばAu-Ge膜からなるn型
電極610を蒸着により形成する。これによって、LE
D600が完成する。

【0093】図6(b)は、上記のようにして形成され
る本実施形態のLED600における、p型 AlGaInP
上部クラッド層64からp型GaP電流拡散層68
にかけてのエネルギーバンドプロファイルを模式的に示
す図である。

【0094】先に図14(b)を参照して説明したよう
に、上部クラッド層と電流拡散層との間に中間層を有し
ない従来のLEDでは、p型 AlGaInP 上部クラ
ッド層とp型GaP電流拡散層との界面において、伝導帯
下端にはエネルギー差 0.25eV のノッチが発生し、
価電子帯上端にはエネルギー差 0.29eV のノッチが
発生する。それに対して、本実施形態に従って形成され
るLED600では、p型 AlGaInP 上部クラ
ッド層64とp型GaP電流拡散層68との間に第1、第2
及び第3のp型 GaInAlP 中間層65、66及び67
を挿入することにより、ノッチが複数の接合界面に分
散して発生するようになる。この結果、伝導帯下端に発
生するノッチはそのエネルギー差が最大で約 0.08eV
となり、価電子帯上端に発生するノッチはそのエネル
ギー差が最大で約 0.12eV となり、それぞれ従来技
術における値よりも低減される。

【0095】さらに、本実施形態のLED600では、
p型 AlGaInP クラッド層64、p型 AlGaInP
第1中間層65、p型 AlGaInP 第2中間層66、
p型 AlGaInP 第3中間層67、p型GaP電
流拡散層68の格子定数が、それぞれ 5.65\AA 、 $5.$
 60\AA 、 5.55\AA 、 5.51\AA 及び 5.45\AA となっ
ており、p型 AlGaInP 第1～3中間層65～67
が、p型 AlGaInP 上部クラッド層64とp型Ga
P電流拡散層68との間の格子不整合を緩和する構成と

なっている。

【0096】この様な第1～第3のp型 AlGaInP
中間層65～67によるノッチの低減と格子不整合の緩
和とにより、本実施形態によるLED600では、従来
技術では約 2.5V であった動作電流 20mA の時の動
作電圧が約 2.0V に低減する一方で、そのときの発
光輝度が約1.5倍向上する。

【0097】（第7の実施形態）本発明の第7の実施形
態における半導体発光素子として、発光ダイオード（L
ED）700を、図7(a)～(c)を参照して説明す
る。図7(a)は、LED700の構成を示す断面図で
あり、図7(b)は、LED700の上部クラッド層か
ら電流拡散層にかけての積層構造の接合界面におけるエ
ネルギーバンドプロファイルを模式的に示す図である。
図7(c)は、LED700の上部クラッド層から電流
拡散層にかけての積層構造における、格子定数の変化を
模式的に示す図である。

【0098】図7(a)に示すように、LED700で
は、n型GaAs基板71の上に、n型 $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{0.51}\text{In}_{0.49}\text{P}$
72（例えば、 $x=1.0$ 及び厚さ約 $1.0\mu\text{m}$ ）、
 $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{0.51}\text{In}_{0.49}\text{P}$ （ $0\leq x\leq 1$ ）活性層
73（例えば、 $x=0.3$ 及び厚さ約 $0.5\mu\text{m}$ ）、及
びp型 $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{0.51}\text{In}_{0.49}\text{P}$ （ $0\leq x\leq 1$ ）
上部クラッド層74（例えば、 $x=1.0$ 及び厚さ約
 $1.0\mu\text{m}$ ）を、順次積層する。このうち、n型 AlGaInP
下部クラッド層72には、キャリア濃度が約
 $5\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ となるようにSiがドーピングされている。
一方、p型 AlGaInP 上部クラッド層74には、キ
ャリア濃度が約 $5\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ となるように、Znが
ドーピングされている。これらのn型下部クラッド層72、
活性層73、及びp型上部クラッド層74によって、L
ED700の発光部を含む積層構造が形成される。

【0099】次いで、p型 AlGaInP 上部クラ
ッド層74の上に、p型 $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{1-y}\text{In}_y\text{P}$ 中間層
75（例えば、厚さ約 $0.1\mu\text{m}$ ）を積層する。このp
型 AlGaInP 中間層75は、組成式におけるuを1
から0へ、またvを0.49から0へ連続的に変化させ
ることによって、その組成を $\text{Al}_{0.51}\text{In}_{0.49}\text{P}$ からG
aPまで連続的に変化させる。さらに、p型 AlGaInP
中間層75には、キャリア濃度が約 $1\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$
となるようにZnがドーピングされている。

【0100】p型 AlGaInP 中間層75の上には、
p型GaP電流拡散層76（例えば、厚さ約 $7\mu\text{m}$ ）を
形成する。このp型GaP電流拡散層76には、キ
ャリア濃度が約 $2\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ となるようにZnがドー
ピングされている。

【0101】次に、p型GaP電流拡散層76の上に例
えばAu-Zn膜を蒸着して、これを例えば円形にパタ
ーニングしてp型電極77を形成する。一方、GaAs

基板 71 の下面には、例えば Au-Ge 膜からなる n 型電極 78 を蒸着により形成する。これによって、LED 700 が完成する。

【0102】図 7 (b) は、上記のようにして形成される本実施形態の LED 700 における、p 型 AlGaInP 上部クラッド層 74 から p 型 GaP 電流拡散層 76 にかけてのエネルギーバンドプロファイルを模式的に示す図である。

【0103】先に図 14 (b) を参照して説明したように、p 型 AlGaInP 上部クラッド層と p 型 GaP 電流拡散層との間に中間層を有しない従来の LED では、p 型 AlGaInP 上部クラッド層と p 型 GaP 電流拡散層との界面において、伝導帯下端にはエネルギー差 0.25 eV のノッチが発生し、価電子帯上端にはエネルギー差 0.29 eV のノッチが発生する。それに対して、本実施形態に従って形成される LED 700 では、p 型 AlGaInP 上部クラッド層 74 と p 型 GaP 電流拡散層 76 との間に、組成が連続的に変化する p 型 AlGaInP 中間層 75 を挿入することにより、ノッチを完全に無くすることができる。

【0104】さらに、p 型 AlGaInP 中間層 75 の組成の連続的な変化にともなって、図 7 (c) に示すように、p 型 AlGaInP 上部クラッド層 74 から p 型 GaP 電流拡散層 76 にかけての格子定数は連続的に変化する。この結果、p 型 AlGaInP 上部クラッド層 74 と p 型 GaP 電流拡散層 76 との間の格子不整合が緩和されている。

【0105】この様なノッチの低減及び格子不整合の緩和によって、本実施形態による LED 700 では、従来技術では約 2.5 V であった動作電流 20 mA の時の動作電圧が約 2.0 V に低減する一方で、そのときの発光輝度が約 1.4 倍向上する。

【0106】(第 8 の実施形態) 本発明の第 8 の実施形態における半導体発光素子として、発光ダイオード (LED) 800 を、図 8 (a) ~ (c) を参照して説明する。図 8 (a) ~ (c) は、LED 800 の構成及びその製造工程を示す断面図である。

【0107】LED 800 の製造にあたっては、まず図 8 (a) に示すように、n 型 GaAs 基板 81 の上に n 型 $(\text{Al}_{1-x}\text{Ga}_x)_{0.51}\text{In}_{0.49}\text{P}$ ($0 \leq x \leq 1$) 下部クラッド層 82 (例えば、 $x = 1.0$ 及び厚さ約 $1.0 \mu\text{m}$)、 $(\text{Al}_{1-x}\text{Ga}_x)_{0.51}\text{In}_{0.49}\text{P}$ ($0 \leq x \leq 1$) 活性層 83 (例えば、 $x = 0.3$ 及び厚さ約 $0.5 \mu\text{m}$)、及び p 型 $(\text{Al}_{1-x}\text{Ga}_x)_{0.51}\text{In}_{0.49}\text{P}$ ($0 \leq x \leq 1$) 上部クラッド層 84 (例えば、 $x = 1.0$ 及び厚さ約 $1.0 \mu\text{m}$) を、順次積層する。このうち、n 型 AlGaInP 下部クラッド層 82 には、キャリア濃度が約 $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ となるように Si がドーピングされている。一方、p 型 AlGaInP 上部クラッド層 84 には、キャリア濃度が約 $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ となるよう

に、Zn がドーピングされている。これらの n 型下部クラッド層 82、活性層 83、及び p 型上部クラッド層 84 によって、LED 800 の発光部を含む積層構造が形成される。

【0108】次いで、p 型 AlGaInP 上部クラッド層 84 の上に、p 型 GaInAlP 中間層 85

(例えば、 $u = v = 0.25$ 及び厚さ約 $0.1 \mu\text{m}$) を積層する。この p 型 GaInAlP 中間層 85 には、キャリア濃度が約 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ となるように、Zn がドーピングされている。

【0109】p 型 GaInAlP 中間層 85 の上には、p 型 GaP キャップ層 86 を成長する。次に、GaP キャップ層 85 の上に、p 型 GaP 基板 87 を結晶軸を一致させて配置する。さらに、p 型 GaP 基板 87 の上に適当な重さの重り 88 を乗せ、 H_2 雰囲気中にて約 650°C で熱処理を行って、GaP キャップ層 86 と p 型 GaP 基板 87 とを接合させる。接合後には、この p 型 GaP 基板 87 は、形成される LED 800 の電流拡散層 87 として機能する。

【0110】その後、図 8 (b) に示すように、p 型 GaP 電流拡散層 87 の上に p 型電極 89 を、成膜プロセス及びエッチングにより形成する。p 型電極 89 は、例えば円形に加工する。次に、n 型 GaAs 基板 81 をエッチングして $10 \mu\text{m}$ 程度の厚さにした後、n 型 GaAs 基板 81 の裏面全体にわたって n 型電極 810 を形成する (図 8 (b))。

【0111】その後、図 8 (c) に示すように、n 型電極 810 及び GaAs 基板 81 をフォトリソグラフィにより適当な形状にエッチングして、LED 800 を得る。

【0112】以上のように形成される本実施形態の LED 800 では、第 5 の実施形態の LED 500 と同様に、エネルギーバンドプロファイルに現れるノッチの低減、及び積層構造での格子不整合の緩和が可能である。これらの効果により、本実施形態による LED 800 では、従来技術では約 2.5 V であった動作電流 20 mA の時の動作電圧が約 2.1 V に低減する一方で、そのときの発光輝度が約 1.2 倍向上する。

【0113】(第 9 の実施形態) 本発明の第 9 の実施形態における半導体発光素子として、発光ダイオード (LED) 900 を、図 9 (a) ~ (c) を参照して説明する。図 9 (a) ~ (c) は、LED 900 の構成及びその製造工程を示す断面図である。

【0114】LED 900 の製造にあたっては、まず図 9 (a) に示すように、n 型 GaAs 基板 91 の上に n 型 $(\text{Al}_{1-x}\text{Ga}_x)_{0.51}\text{In}_{0.49}\text{P}$ ($0 \leq x \leq 1$) 下部クラッド層 92 (例えば、 $x = 1.0$ 及び厚さ約 $1.0 \mu\text{m}$)、 $(\text{Al}_{1-x}\text{Ga}_x)_{0.51}\text{In}_{0.49}\text{P}$ ($0 \leq x \leq 1$) 活性層 93 (例えば、 $x = 0.3$ 及び厚さ約 $0.5 \mu\text{m}$)、及び p 型 $(\text{Al}_{1-x}\text{Ga}_x)_{0.51}\text{In}_{0.49}\text{P}$ (0

$\leq x \leq 1$) 上部クラッド層94 (例えば、 $x = 1.0$ 及び厚さ約 $1.0 \mu\text{m}$) を、順次積層する。このうち、 n 型 AlGaInP 下部クラッド層92には、キャリア濃度が約 $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ となるように Si がドーピングされている。一方、 p 型 AlGaInP 上部クラッド層94には、キャリア濃度が約 $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ となるように、 Zn がドーピングされている。これらの n 型下部クラッド層92、活性層93、及び p 型上部クラッド層94によって、LED900の発光部を含む積層構造が形成される。

【0115】次いで、 p 型 AlGaInP 上部クラッド層94の上に、 p 型 GaInAlP 中間層95 (例えば、 $u = v = 0.25$ 及び厚さ約 $0.1 \mu\text{m}$) を積層する。この p 型 GaInAlP 中間層95には、キャリア濃度が約 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ となるように、 Zn がドーピングされている。

【0116】 p 型 GaInAlP 中間層95の上には、 n 型 GaP 電流阻止層96 (例えば、厚さ約 $0.3 \mu\text{m}$) を成長する。次に、 n 型 GaP 電流阻止層96の上に適切にパターンニングされたレジスト97を塗布して、エッチング処理によって n 型 GaP 電流阻止層96を例えば円形の形状に加工する (図9(b) 参照)。

【0117】エッチング終了後にレジスト97を除去した後に、 n 型電流阻止層96の上に、 p 型 GaP 電流拡散層98 (例えば、厚さ約 $7 \mu\text{m}$) を形成する。この p 型 GaP 電流拡散層98には、キャリア濃度が約 $2 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ となるように Zn がドーピングされている。

【0118】次に、 p 型 GaP 電流拡散層98の上に例えば Au-Zn 膜を蒸着して、これを例えば円形にパターンニングして p 型電極99を形成する。一方、 GaAs 基板91の下面には、例えば Au-Ge 膜からなる n 型電極910を蒸着により形成する。これによって、LED900が完成する。

【0119】上記構造を有する本実施形態のLED900では、 p 型電極99から注入された電流は、 p 型 GaP 電流拡散層98の中で n 型 GaP 電流阻止層96の外側まで広がり、その後 p 型 AlGaInP 上部クラッド層94に注入される。このような構成によれば、発光は p 型電極99の直下以外の箇所で生じるので、出射光のうちで p 型電極99によって妨げられる量が低減される。この結果、光の取り出し効率が向上される。

【0120】以上のように形成される本実施形態のLED900では、第5の実施形態のLED500と同様に、エネルギーバンドプロファイルに現れるノッチの低減、及び積層構造での格子不整合の緩和が可能である。これらの効果により、本実施形態によるLED900では、従来技術では約 2.5V であった動作電流 20mA の時の動作電圧が約 2.1V に低減する一方で、そのときの発光輝度が約2倍向上する。

【0121】以上に説明した各実施形態では、中間層を

設けることによってエネルギーバンドプロファイルでのノッチを緩和するにあたって、伝導帯下端及び価電子帯上端の両方におけるノッチの緩和を図っている。しかし、必ずしも両方でのノッチの緩和を行う必要はなく、伝導帯下端或いは価電子帯上端のいずれか一方でのノッチの緩和を図ることで、これまでに説明したものと同様の効果を得ることができる。

【0122】以上の各実施形態の説明では、上部クラッド層、中間層及び電流拡散層などの材料として、特定の材料名を挙げて説明している。しかし、本発明の適用範囲は、何らかの特定の材料に限られるものではない。例えば、電流拡散層の材料として GaP を使用しているが、 AlGaP を使用することもできる。その意味で、上記の各実施形態における電流拡散層の構成材料としては、 GaP 及び AlGaP の双方を含む AlGaP 系の化合物半導体材料とすることができる。

【0123】どのような構成材料を使用する場合でも、上記で説明したような、上部クラッド層、中間層及び電流拡散層の伝導帯下端及び/または価電子帯上端におけるエネルギー位置の関係、或いは/及び、格子定数の関係を満たすような材料を、中間層の材料として適宜選択すればよい。この中間層材料の選択について、以下に図10を参照して説明する。

【0124】図10は、*Appl. Phys. Lett.*、Vol.60, No.5, pp.630-632(1992)に記載されている、各種半導体材料の伝導帯下端及び価電子帯上端のエネルギー位置 (縦軸、 Au のショットキーバリア位置に対する相対値として表示) と格子定数 (横軸) とを示すグラフである。具体的には、図中の印は、それぞれの2元混晶についてのプロットである (但し、 Si 及び Ge を除く)。また、それぞれの印の間を結ぶ実線と点線は、3元混晶に関する値の変化を示している。

【0125】ここでは、 AlP 層と GaP 層との接合を例にとり、それらの間に挿入されるべき中間層の材料の決定方法について説明する。なお、上記のうちで AlP は、これまでの実施形態の構成の中で具体的に言及されている材料系ではないが、図10の中でのプロット位置の関係で以下の説明を簡潔に行えるので、ここでは例として選択している。

【0126】まず、エネルギーバンドプロファイルに着目して中間層の材料を選択する場合の例を説明する。

【0127】このとき、 GaP 層及び AlP 層の伝導帯下端のエネルギー位置は、それぞれ図10の縦軸の点(1)及び点(2)である。また、 GaP 層及び AlP 層の価電子帯上端のエネルギー位置は、それぞれ図10の縦軸の点(3)及び点(4)である。従って、中間層の材料として、その伝導帯下端のエネルギー位置が点(1)と点(2)との間に存在し、且つ/または、価電子帯上端のエネルギー位置が点(3)と点(4)との間に位置するような材料を、選択する。

【0128】一方、格子定数に着目する場合には、GaP層及びAlP層の格子定数の値がそれぞれ図10の横軸の点(5)及び点(6)であることから、格子定数の値がこれらの点の間に位置するような材料を、中間層の構成材料として選択すればよい。

【0129】格子定数及びエネルギーバンドプロファイルの双方に着目する場合には、上記それぞれの条件を同時に満たすような材料を選択する。

【0130】このようにすることによって、適切な中間層の構成材料が決定される。上記の説明におけるGaPやAlPを、実際に上部クラッド層や電流拡散層の構成材料として使用される半導体材料で置き換えれば、どのような材料の組み合わせに対しても上記の手法は適用可能である。接合対象になる半導体材料層が4元混晶から構成されている場合でも、上記と同様の手法で適切な材料を選択すればよい。なお、中間層の構成材料を具体的に得るためには、例えば3元系化合物半導体材料や4元系化合物半導体材料における組成比の調整など、半導体技術で一般的に行われている手法を行えばよい。

【0131】上記で説明した各実施形態では、中間層のキャリア濃度を約 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ としているが、実際には約 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ～約 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ のキャリア濃度を有するように中間層を形成することが好ましい。キャリア濃度が上記の範囲よりも小さいと、中間層が高抵抗になって電流拡散層から上部クラッド層(活性層)へのキャリアの注入が十分に行えなくなる。一方、キャリア濃度が上記範囲よりも高いと、高濃度ドーピングによる結晶性の劣化や、ドーピングされた不純物の固体内拡散による結晶性の劣化を招く可能性がある。

【0132】また、各実施形態のLEDにおいて、中間層の厚さは、好ましくは約 $0.01 \mu\text{m}$ ～約 $5 \mu\text{m}$ の範囲内にあることが好ましい。中間層が上記範囲よりも薄いと所望のエネルギーバンドプロファイルを得ることができず、一方、中間層が上記範囲よりも厚いと生産性が低下する。

【0133】また、上記の各実施形態における各層の結晶成長は、MOCVD法、MBE法、MOMBE法、LPE法など、半導体技術で一般に使用される成長技術によって行うことができる。

【0134】また、各層へのSiやZnなどの不純物のドーピングは、成長と共にドーピング材料を供給することによるドーピングの他に、イオン注入など半導体技術で一般的に使用される手法で行うことができる。ドーピングされる不純物としては、Si或いはZnのみならず、SeやMgなど、半導体技術で一般に使用される不純物を用いることができる。

【0135】

【発明の効果】以上に説明したように、本発明の半導体発光素子では、上部クラッド層と電流拡散層との間に所定の中間層を設けることによって、これらの層の界面に

において、エネルギーバンドプロファイルに生じる不連続(ノッチ)が低減される。また、上部クラッド層と電流拡散層との間の格子不整合が緩和される。これによって、キャリアの移動に対する障壁や界面準位が低減されて、上記の界面におけるキャリアの再結合が低減される。この結果、動作電圧が低減されて、半導体発光素子の消費電力が低減される。さらに、活性層へのキャリアの注入効率が向上して、発光効率が向上し、従って半導体発光素子の発光輝度が向上する。

10 【図面の簡単な説明】

【図1】(a)は、本発明の第1の実施形態における半導体発光素子の構成を示す断面図であり、(b)は、その上部クラッド層から電流拡散層にかけてのエネルギーバンドプロファイルを模式的に示す図である。

【図2】(a)は、本発明の第2の実施形態における半導体発光素子の構成を示す断面図であり、(b)は、その上部クラッド層から電流拡散層にかけてのエネルギーバンドプロファイルを模式的に示す図である。

20 【図3】本発明の第3の実施形態における半導体発光素子の構成を示す断面図である。

【図4】本発明の第4の実施形態における半導体発光素子の構成を示す断面図である。

【図5】(a)は、本発明の第5の実施形態における半導体発光素子の構成を示す断面図であり、(b)は、その上部クラッド層から電流拡散層にかけてのエネルギーバンドプロファイルを模式的に示す図である。

【図6】(a)は、本発明の第6の実施形態における半導体発光素子の構成を示す断面図であり、(b)は、その上部クラッド層から電流拡散層にかけてのエネルギーバンドプロファイルを模式的に示す図である。

30 【図7】(a)は、本発明の第7の実施形態における半導体発光素子の構成を示す断面図であり、(b)は、その上部クラッド層から電流拡散層にかけてのエネルギーバンドプロファイルを模式的に示す図であり、(c)は、上部クラッド層から電流拡散層にかけて格子定数の変化を模式的に示す図である。

【図8】(a)～(c)は、本発明の第8の実施形態における半導体発光素子の構成及びその製造方法を示す断面図である。

40 【図9】(a)～(c)は、本発明の第9の実施形態における半導体発光素子の構成及びその製造方法を示す断面図である。

【図10】各種の化合物半導体材料における、伝導帯下端及び価電子帯上端のエネルギー位置と格子定数との関係を模式的に示すグラフである。

【図11】従来の半導体発光素子の構成を示す断面図である。

【図12】(a)～(c)は、従来の他の半導体発光素子の構成及びその製造方法を示す断面図である。

50 【図13】(a)～(c)は、半導体材料接合時のタイ

プI～IIIの接合の様子をそれぞれ模式的に示すエネルギーバンドプロファイルである。

【図14】(a)～(c)は、従来の半導体発光素子における半導体材料の接合前後のエネルギーバンドプロファイル、及びキャリアの挙動を模式的に説明する図である。

【図15】(a)及び(b)は、従来技術による中間バンドギャップ層の機能を説明するエネルギーバンドプロファイルである。

【符号の説明】

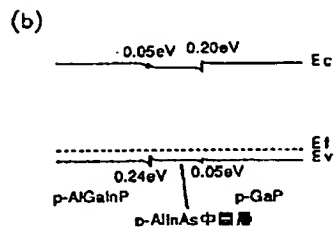
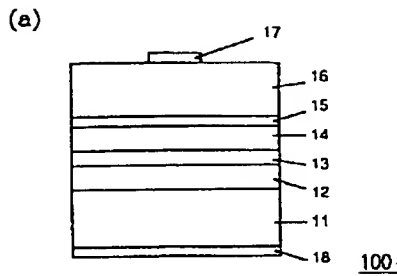
- | | | | |
|----|------------------|---------|------------------|
| 11 | n型GaAs基板 | 57 | p型電極 |
| 12 | n型AlGaInP下部クラッド層 | 58 | n型電極 |
| 13 | AlGaInP活性層 | 61 | n型GaAs基板 |
| 14 | p型AlGaInP上部クラッド層 | 62 | n型AlGaInP下部クラッド層 |
| 15 | p型AlInAs中間層 | 63 | AlGaInP活性層 |
| 16 | p型GaP電流拡散層 | 64 | p型AlGaInP上部クラッド層 |
| 17 | p型電極 | 65 | p型AlGaInP第1中間層 |
| 18 | n型電極 | 66 | p型AlGaInP第2中間層 |
| 21 | n型GaAs基板 | 67 | p型AlGaInP第3中間層 |
| 22 | n型AlGaInP下部クラッド層 | 10 68 | p型GaP電流拡散層 |
| 23 | AlGaInP活性層 | 69 | p型電極 |
| 24 | p型AlGaInP上部クラッド層 | 610 | n型電極、 |
| 25 | p型AlInAs第1中間層 | 71 | n型GaAs基板 |
| 26 | p型AlInAs第2中間層 | 72 | n型AlGaInP下部クラッド層 |
| 27 | p型GaP電流拡散層 | 73 | AlGaInP活性層 |
| 28 | p型電極 | 74 | p型AlGaInP上部クラッド層 |
| 29 | n型電極 | 75 | p型AlGaInP中間層 |
| 31 | n型GaAs基板 | 76 | p型GaP電流拡散層 |
| 32 | n型AlGaInP下部クラッド層 | 77 | p型電極 |
| 33 | AlGaInP活性層 | 20 78 | n型電極 |
| 34 | p型AlGaInP上部クラッド層 | 81 | n型GaAs基板 |
| 35 | p型GaAsP中間層 | 82 | n型AlGaInP下部クラッド層 |
| 36 | p型GaP電流拡散層 | 83 | AlGaInP活性層 |
| 37 | p型電極 | 84 | p型AlGaInP上部クラッド層 |
| 38 | n型電極 | 85 | p型AlGaInP中間層 |
| 41 | n型GaAs基板 | 86 | p型GaPキャップ層 |
| 42 | n型AlGaInP下部クラッド層 | 87 | p型GaP基板(電流拡散層) |
| 43 | AlGaInP活性層 | 88 | 重り |
| 44 | p型AlGaInP上部クラッド層 | 89 | p型電極 |
| 45 | p型GaAsP第1中間層 | 30 810 | n型電極 |
| 46 | p型GaAsP第2中間層 | 91 | n型GaAs基板 |
| 47 | p型GaP電流拡散層 | 92 | n型AlGaInP下部クラッド層 |
| 48 | p型電極 | 93 | AlGaInP活性層 |
| 49 | n型電極 | 94 | p型AlGaInP上部クラッド層 |
| 51 | n型GaAs基板 | 95 | p型AlGaInP中間層 |
| 52 | n型AlGaInP下部クラッド層 | 96 | n型GaP電流阻止層 |
| 53 | AlGaInP活性層 | 97 | レジスト |
| 54 | p型AlGaInP上部クラッド層 | 98 | p型GaP電流拡散層 |
| 55 | p型AlGaInP中間層 | 99 | p型電極 |
| 56 | p型GaP電流拡散層 | 40 910 | n型電極 |
| | | 1110 | n型GaAs基板 |
| | | 1120 | n型AlGaInP下部クラッド層 |
| | | 1130 | AlGaInP活性層 |
| | | 1140 | p型AlGaInP上部クラッド層 |
| | | 1150 | p型GaP電流拡散層 |
| | | 1160 | p型電極 |
| | | 1170 | n型電極 |
| | | 1210 | n型GaAs基板 |
| | | 1220 | n型AlGaInP下部クラッド層 |
| | | 50 1230 | AlGaInP活性層 |

1240 p型AlGaInP上部クラッド層
 1250 p型GaPキャップ層
 1260 p型GaP基板(電流拡散層)
 1270 重り
 1280 p型電極

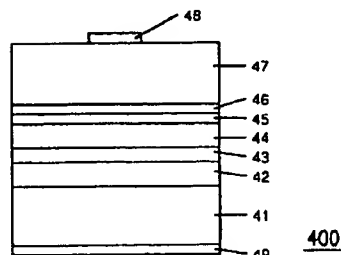
* 1290 n型電極
 100、200、300、400、500、600、700、800、900、1100、1200 発光ダイオード(LED)

*

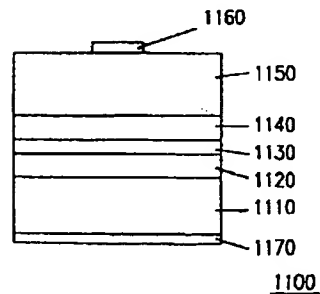
【図1】



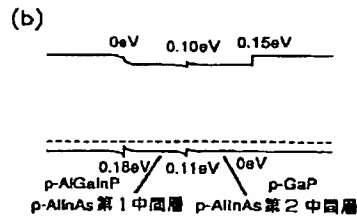
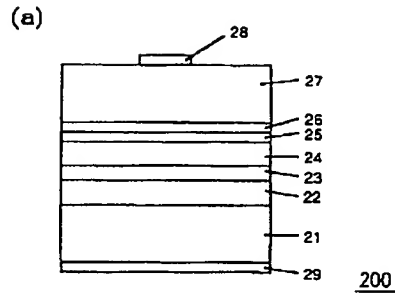
【図4】



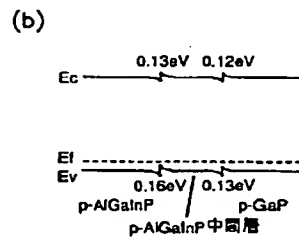
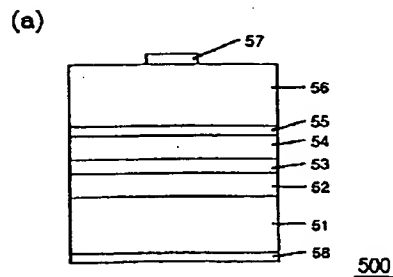
【図11】



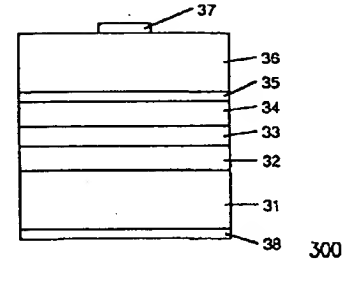
【図2】



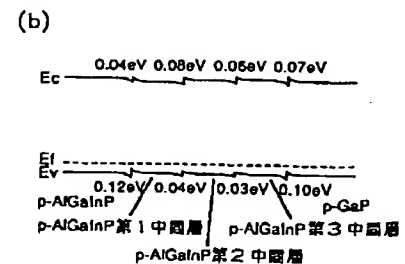
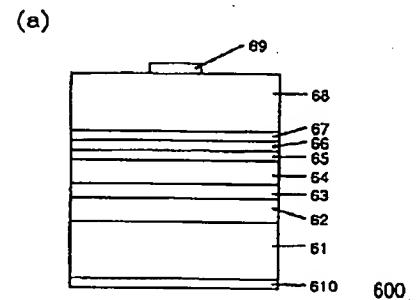
【図5】



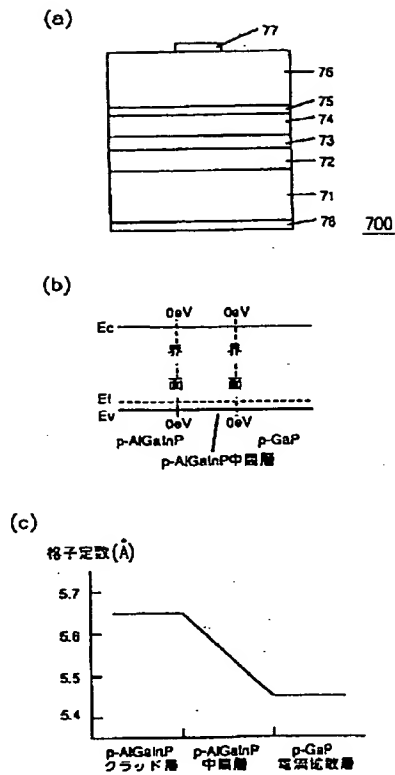
【図3】



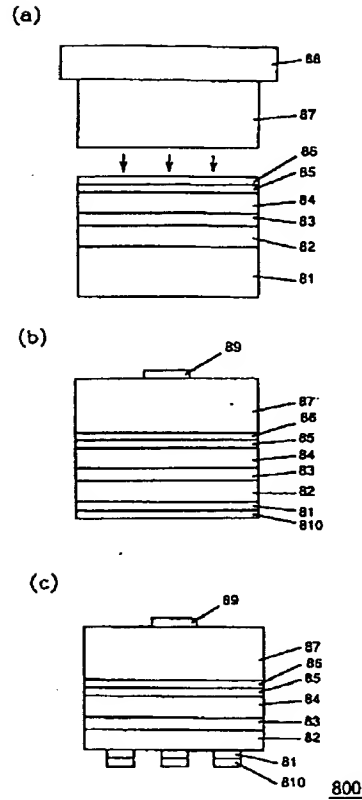
【図6】



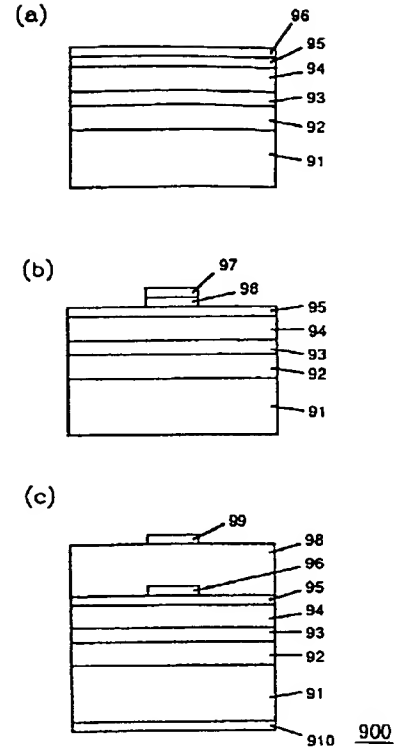
【図7】



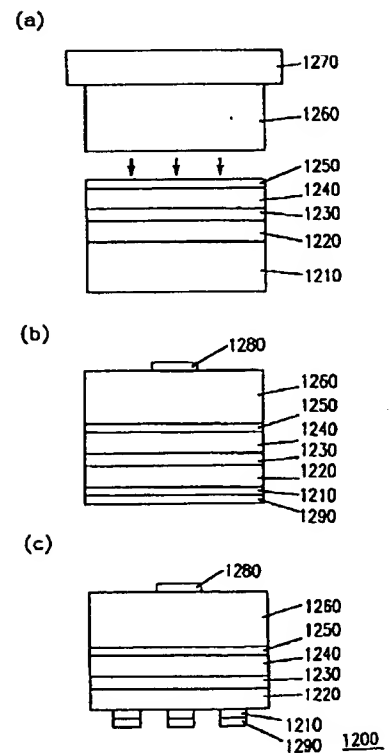
【図8】



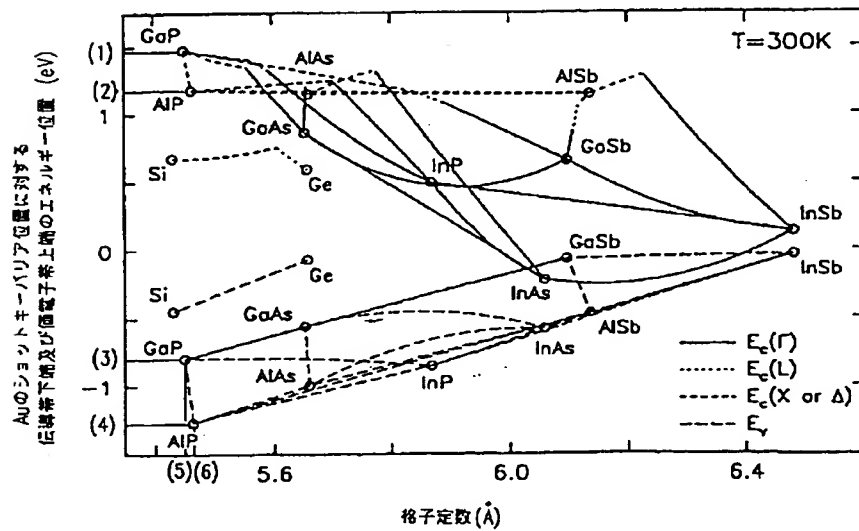
【図9】



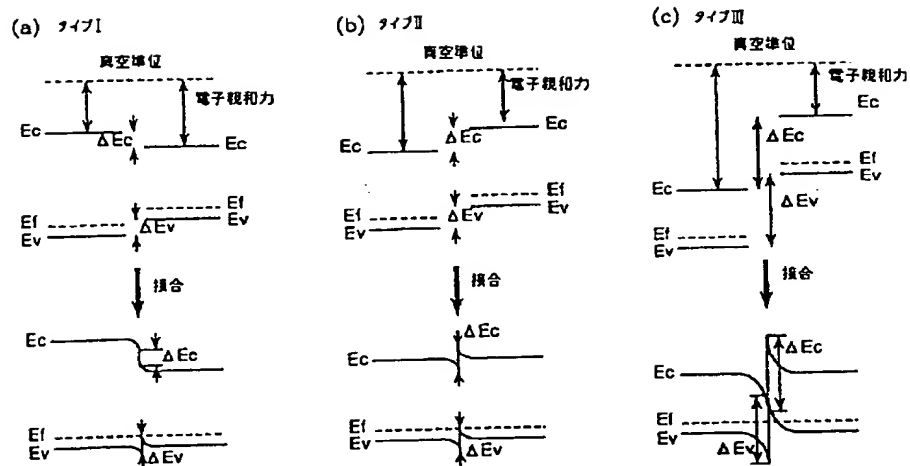
【図12】



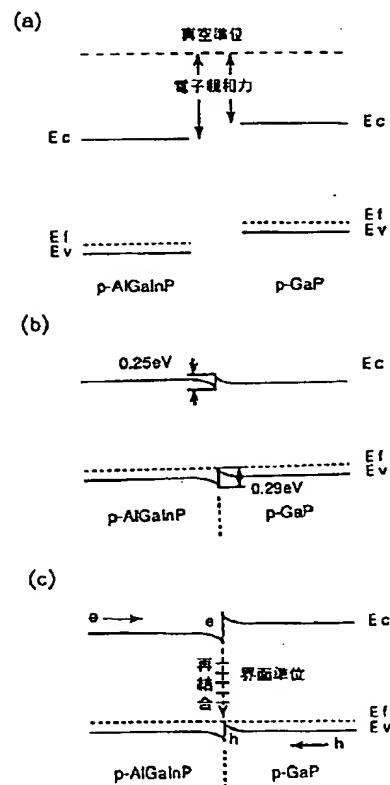
【図10】



【図13】



【図14】



【図15】

